

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 09-166764

(43)Date of publication of application : 24.06.1997

(51)Int.Cl.

G02F 1/025

(21)Application number : 07-328635

(71)Applicant : NIPPON TELEGR & TELEPH CORP <NTT>

(22)Date of filing : 18.12.1995

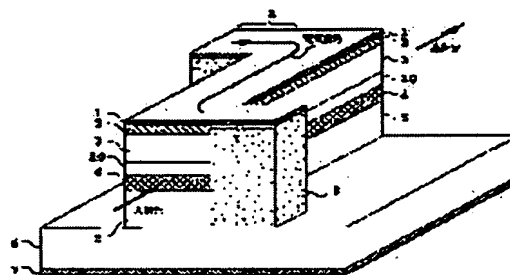
(72)Inventor : KONO KENJI

(54) ABSORPTION TYPE SEMICONDUCTOR LIGHT MODULATOR

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide an absorption type semiconductor light modulator having an excellent optical modulation band without deteriorating of extinction ratio by making an electrode a traveling-wave type electrode.

SOLUTION: A P-side electrode is made to be a traveling-wave type electrode. A polyimidelayer 8 is provided on the incident side of an optical signal, an electrode on its upper part becomes the input part I of an electric signal and an electric signal (reversely biased voltage) is inputted from a driving signal source. On the other hand, an output part II is provided on an electrode on the output side of the optical signal and a terminal resistor is connected to the output part. Namely, when light is made incident and propagates through a MQW(multiple quantum well) optical modulator, the electric signal also propagates in the same direction as light over the total length. Since the absorption end wavelength of a MQW core 4 is shifted to the side of long wavelength by the electric signal during the travel of both signals together, the light is absorbed and becomes the OFF state. By matching the velocities of the electric signal with the optical signal, the length of a semiconductor core absorbing the light at the time of the OFF state of light is lengthened and super-high speed light modulation is obtained while keeping high extinction ratio.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 19.12.1997

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number] 2996287

[Date of registration] 29.10.1999

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 特 許 公 報 (B 2)

(11) 特許番号

第2996287号

(45) 発行日 平成11年(1999)12月27日

(24) 登録日 平成11年(1999)10月29日

(51) Int.Cl.⁶

識別記号

F I

G 0 2 F 1/025

G 0 2 F 1/025

請求項の数 4 (全 5 頁)

(21) 出願番号 特願平7-328635

(22) 出願日 平成7年(1995)12月18日

(65) 公開番号 特開平9-166764

(43) 公開日 平成9年(1997)6月24日

審査請求日 平成9年(1997)12月19日

(73) 特許権者 000004226

日本電信電話株式会社

東京都千代田区大手町二丁目3番1号

(72) 発明者 河野 健治

東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日

本電信電話株式会社内

(74) 代理人 弁理士 谷 義一 (外1名)

審査官 瀬川 勝久

(56) 参考文献 特開 平3-149529 (J P, A)

(58) 調査した分野(Int.Cl.⁶, D B名)

G02F 1/025

(54) 【発明の名称】 吸収形半導体光変調器

1

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】 吸収端波長が光信号の波長より短い半導体コアと、電圧印加時に前記半導体コアの前記吸収端波長を長波長側に動かすことにより、前記光信号を前記半導体コアに吸収させるための電圧印加用の電極を具備する吸収形半導体光変調器において、前記電極が進行波形電極であり、前記電極に電圧を印加するための駆動信号源の特性インピーダンスと前記光変調器の特性インピーダンスが等しく、前記半導体コアとその上部の上部クラッド層の間にノンドープ半導体層が設けられていることを特徴とする吸収形半導体光変調器。

【請求項2】 吸収端波長が光信号の波長より短い半導体コアと、電圧印加時に前記半導体コアの前記吸収端波長を長波長側に動かすことにより、前記光信号を前記半導体コアに吸収させるための電圧印加用の電極を具備す

2

る吸収形半導体光変調器において、前記電極が進行波形電極であり、前記電極に電圧を印加するための駆動信号源の特性インピーダンスと前記光変調器の特性インピーダンスが等しく、前記半導体コアとその下部の下部クラッド層の間にノンドープ半導体層が設けられていることを特徴とする吸収形半導体光変調器。

【請求項3】 吸収端波長が光信号の波長より短い半導体コアと、電圧印加時に前記半導体コアの前記吸収端波長を長波長側に動かすことにより、前記光信号を前記半導体コアに吸収させるための電圧印加用の電極を具備する吸収形半導体光変調器において、前記電極が進行波形電極であり、前記電極に電圧を印加するための駆動信号源の特性インピーダンスと前記光変調器の特性インピーダンスが等しく、前記半導体コアとその上部の上部クラッド層の間および下部の下部クラッド層の間にそれぞれ

3

ノンドープ半導体層が設けられていることを特徴とする吸収形半導体光変調器。

【請求項4】 信号光の等価屈折率と電気信号の等価屈折率が実質的に等しいことを特徴とする請求項1から3のいずれかに記載の吸収形半導体光変調器。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、半導体光変調器、特に高速で動作する吸収形半導体光変調器に関する。

【0002】

【従来の技術】図3に従来の吸収形半導体光変調器の一例を示す。図中、1はp側電極、2は $p^+-InGaAs$ キャップ層、3は $p-InP$ クラッド層、4はコアで、ここではノンドープである $i-InGaAlAs$ (13nm)/ $InAlAs$ (5nm) 多重量子井戸(MQW)を例として示している。5は $n-InP$ クラッド層、6は $n-InP$ 基板、7はn側電極を表す。8はポリイミド層であり、図においてp側電極1のうちポリイミド層8の上の部分はボンディングパッドと呼ばれている。9はボンディングワイヤであり、図示しない駆動信号源から電気信号(電圧)が印加される。

【0003】この従来例の動作原理を説明するために、

$$\Delta f = 1 / (\pi \cdot R_L \cdot C_{MQW})$$

と表すことができる。一般に終端抵抗 R_L は駆動信号源の特性インピーダンス R_G と同じ 50Ω である。ここで、パッドのキャパシタンス C_p は充分小さく、全キャパシタンスはMQWコアのキャパシタンス C_{MQW} でほぼ決定されると仮定した。ちなみに $i-MQW$ コアの厚み

$$C_{MQW} = \epsilon_0 \epsilon_r wL / d$$

から求められる。ここで、 ϵ_0 および ϵ_r はそれぞれ真空中の誘電率およびMQWコア4の比誘電率である。式

(1)と式(2)から、集中定数形MQW光変調器における電気3dB帯域 Δf は20GHzかそれ以下となることがわかる。この3dB帯域を広げるためには、 C_{MQW} を小さくすれば良いが、 $i-MQW$ コア4の長さを

$$R = \exp(-\Delta\alpha \cdot \Gamma \cdot L)$$

この式からわかるように、長さ L が短くなると消光比の劣化を招くため、消光比の観点から $i-MQW$ コア4の長さをあまり短くはできないことになる。

【0008】なお、図3の構造図と図5の等価回路からわかるように、従来例の電極は集中定数形の電極であり、電気信号と光は同方向に並走しない。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】このように、従来の集中定数形電極を有する吸収形半導体光変調器においては、CR定数で制限される電気3dB帯域 Δf と消光比 R には厳しいトレードオフの関係がある。そのため、高い消光比を保ちつつ、50GHz以上の超高速光変調を実現することは困難であるという問題があった。

【0010】そこで、本発明の目的は、これらの問題を

4

図4にMQWコアの光吸収スペクトルを示す。例えば、信号光の波長を $1.55\mu m$ とすると、吸収ピークを $1.49\mu m$ 程度となるように設計する。すると、図に示すように、光変調器に電圧を印加していない場合には、動作波長つまり光信号の波長は、実線Aに示すように、吸収端波長よりも長波長側に離れているため、入射光はMQWコア4に吸収されることなく出射され、光はON状態となる。一方、逆バイアス印加時には、吸収スペクトルは点線Bのように長波長側に移動するため、光信号はMQWコア4に吸収され、その結果、光はOFF状態となる。

【0004】さて、この従来例として示した吸収形半導体光変調器のp側電極1は集中定数動作のための電極である。これを説明するために、駆動信号源を含めた等価回路を図5に簡略化して示す。 S_G は駆動信号源、 R_G は駆動信号源の特性インピーダンス、 R_L は終端抵抗、 C_{MQW} はMQWコアのキャパシタンスであり、 C_p は前述したp側電極の一部であるボンディングパッドのキャパシタンスを表す。この場合の電気3dB帯域 Δf は近似的に

【0005】

【数1】

$$(1)$$

d 、幅 w および長さ L をそれぞれ $0.2\mu m$ 、 $2\mu m$ 、および $300\mu m$ とすると、MQWコア4のキャパシタンスは

【0006】

【数2】

$$(2)$$

短くすると、光信号の消光比が劣化する。つまり、電圧印加による $i-MQW$ コア4の吸収係数の増加を $\Delta\alpha$ 、導波光の $i-MQW$ コア4への閉じ込め係数を Γ とすると、光信号の消光比 R は次式のように表される。

【0007】

【数3】

$$(3)$$

解決し、光変調帯域の点で優れた吸収形半導体光変調器を提供することにある。

【0011】

【課題を解決するための手段】このような目的を達成するために、本発明による吸収形半導体光変調器は、吸収端波長が光信号の波長より短い半導体コアと、電圧印加時に前記半導体コアの前記吸収端波長を長波長側に動かすことにより、前記光信号を前記半導体コアに吸収させるための電圧印加用の電極を具備する吸収形半導体光変調器において、前記電極が進行波形電極であり、前記電極に電圧を印加するための駆動信号源の特性インピーダンスと前記光変調器の特性インピーダンスが等しく、前記半導体コアとその上部の上部クラッド層の間にノンドープ半導体層が設けられていることを特徴とする。

5

【0012】さらに、本発明による吸収形半導体光変調器は、吸収端波長が光信号の波長より短い半導体コアと、電圧印加時に前記半導体コアの前記吸収端波長を長波長側に動かすことにより、前記光信号を前記半導体コアに吸収させるための電圧印加用の電極を具備する吸収形半導体光変調器において、前記電極が進行波形電極であり、前記電極に電圧を印加するための駆動信号源の特性インピーダンスと前記光変調器の特性インピーダンスが等しく、前記半導体コアとその下部の下部クラッド層の間にノンドープ半導体層が設けられていることを特徴とする。

【0013】さらにまた、本発明による吸収形半導体光変調器は、吸収端波長が光信号の波長より短い半導体コアと、電圧印加時に前記半導体コアの前記吸収端波長を長波長側に動かすことにより、前記光信号を前記半導体コアに吸収させるための電圧印加用の電極を具備する吸収形半導体光変調器において、前記電極が進行波形電極であり、前記電極に電圧を印加するための駆動信号源の特性インピーダンスと前記光変調器の特性インピーダンスが等しく、前記半導体コアとその上部の上部クラッド層の間および下部の下部クラッド層の間にそれぞれノンドープ半導体層が設けられていることを特徴とする。

【0014】さらに、信号光の等価屈折率と電気信号の等価屈折率を実質的に等しくするとよい。

【0015】

【発明の実施の形態】本発明においては、電圧を印加して半導体コアの吸収端波長を長波長側に動かす、それによって光信号を半導体コアに吸収させるための電圧印加用の電極を進行波形電極としている。より具体的に言えば、光信号の入射側に電気信号（電圧）の入力部を設け、一方、光信号の出射側に電気信号の出力部を設ける。このような構成によって、電気信号と光信号は並走する。本発明のこのような構成によって、電気3dB帯域 Δf はCR定数で制限されるという問題がなくなる。従って、特に、電気信号と光信号の速度整合をとれば、光のOFF時に光を吸収する半導体コアの長さを長くすることができ、高い消光比を保ちつつ超高速光変調を実現することができる。

【0016】

【実施例】以下に図面を参照して本発明の実施例を詳細に説明する。

【0017】図1に本発明の一実施例を示す。図におい

$$\Delta f = 1.4c_0 / (\pi(|n_m - n_0|)L) \quad (4)$$

と表される。ここで、 c_0 は光の速度、 n_m はMQW光変調器の電気信号の等価屈折率、 n_0 は信号光の等価屈折率、 L はMQWコアの長さである。従って、 L を300 μm 、 n_m を3.4、 n_0 を3.2とすると、 Δf は約2200GHzと、超広帯域光変調を実現できることになる。

【0023】さらに、電気信号と光信号の速度整合をと

6

て、従来例と同様に、1はp側電極、2は $p^+ - \text{InGaAs}$ キャップ層、3は $p - \text{InP}$ クラッド層、4はコア層で、本実施例においても、 $i - \text{InGaAlAs}$ (13nm) / InAlAs (5nm) 多重量子井戸(MQW)を例にとる。5は $n - \text{InP}$ クラッド層、6は $n - \text{InP}$ 基板、7はn側電極である。8はポリイミド層、10は $i - \text{InP}$ 層である。このような構造は、通常の半導体装置作製技術によって作製できる。

【0018】ここで、本実施例が図3に示した従来例と最も異なる点はp側電極1が進行波形電極となっている点である。ポリイミド層8は光信号の入射側に設けられ、その上部の電極が電気信号の入力部Iとなり、図示しない駆動信号源から電気信号（逆バイアス電圧）が入力される。一方、光信号の出力側の電極には出力部IIが設けられ、この出力部には終端抵抗が接続される。つまり、光が入射してMQW光変調器を伝搬する間に、電気信号も光変調器の全長に亘って光と同方向に伝搬する。両者が並走する間に、電気信号によりMQWコアの吸収端波長は長波長側にシフトされるため、光は吸収されOFF状態となる。

【0019】本実施例では、p側電極1は進行波形電極となっているが、電気信号源 S_G の特性インピーダンスが50 Ω であるため、吸収形MQWの特性インピーダンスも50 Ω に等しいか、または近いことが望ましい。従って、本実施例では、 $i - \text{InP}$ 層10をMQWコア4と $p - \text{InP}$ クラッド層3との間に設けて、p側電極1を含めたMQW変調器の特性インピーダンスを50 Ω としている。電極1の出力部IIに接続される終端抵抗の値は50 Ω である。

【0020】図2に本実施例の等価回路を示す。 S_G は駆動信号源、 R_G は駆動信号源の特性インピーダンス、 R_L は終端抵抗、 Z_M は光変調器の特性インピーダンスである。図5との比較からわかるように、この等価回路は、従来の集中定数形の光変調器の等価回路とは非常に異なっている。

【0021】さて、この進行波形の吸収形半導体光変調器の3dB変調帯域 Δf は、簡単のために、進行波形電極の電気伝搬損失を0、特性インピーダンス Z_M を50 Ω と仮定すると、

【0022】

【数4】

れば、すなわち、 $n_m = n_0$ とすれば、光の消光比Rを大きくするためにMQWコア4の長さLを長くしても、帯域制限要因は電極の電気伝搬損失のみとなる。電気伝搬損失は電極の厚みを厚くする等により低減できるため、やはり光変調器の超広帯域動作を実現できることになる。

【0024】なお、本実施例では、下部クラッド層5以

7

上の積層構造全体がリッジ状をなしMQWコアの側面が大気に露出している、いわゆるハイメサ構造の光変調器を示したが、上記積層構造のうち、i-InP層10の一部、上部クラッド層3、InGaAsキャップ層2およびp側電極1のみをリッジ状とした、いわゆるストリップ装荷形としてもよい。

【0025】また、本実施例では、i-InP層10をMQWコア4と上部クラッド層3との間に設けたが、i-InP層はMQWコア4と下部クラッド層5との間に設けてもよい。このようにすることによって、特にノンドープのMQWコアおよびInP層の純度が充分高くない場合でもMQWコアに空乏層を生じさせるための信号電圧の増加を避けることができる。もちろんノンドープのInP層をMQWコアの上下に設けてもよい。

【0026】本発明では電極が進行波形電極であれば良いので、p側およびn側電極の構成の形態は問わないし、基板として半絶縁性基板を用いても良いことは言うまでもない。さらに、コア4はi-InGaAsP/InP等、他のMQW組成でも良いし、i-InGaAsP等の4元バルク組成を用いることも可能である。

【0027】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によれば、電極を進行波形電極とすることにより、消光比を劣化さ

8

せることなく、光変調帯域の点で優れた吸収形半導体光変調器を実現することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明による吸収形半導体光変調器の一実施例の構造を示す図である。

【図2】図1の実施例を動作させる場合の等価回路図である。

【図3】従来の吸収形半導体光変調器の構造を示す図である。

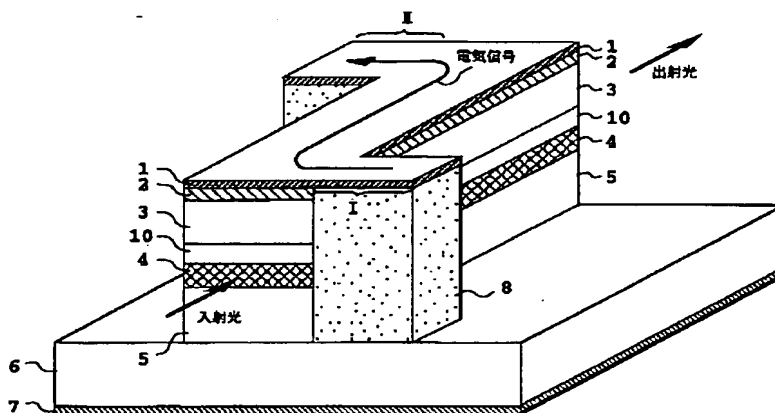
【図4】従来例の動作原理を説明する図である。

【図5】従来例を動作させる場合の等価回路図である。

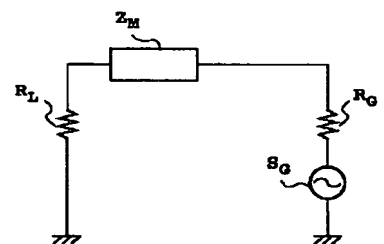
【符号の説明】

- 1 p側電極
- 2 p^+ -InGaAsキャップ層
- 3 p-InPクラッド層
- 4 i-InGaAs/InAlAs多重量子井戸(MQW)コア
- 5 n-InPクラッド層
- 6 n-InP基板
- 7 n側電極
- 8 ポリイミド層
- 9 ボンディングワイヤ
- 10 i-InP層

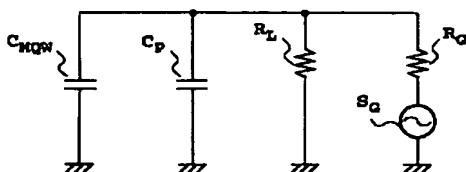
【図1】



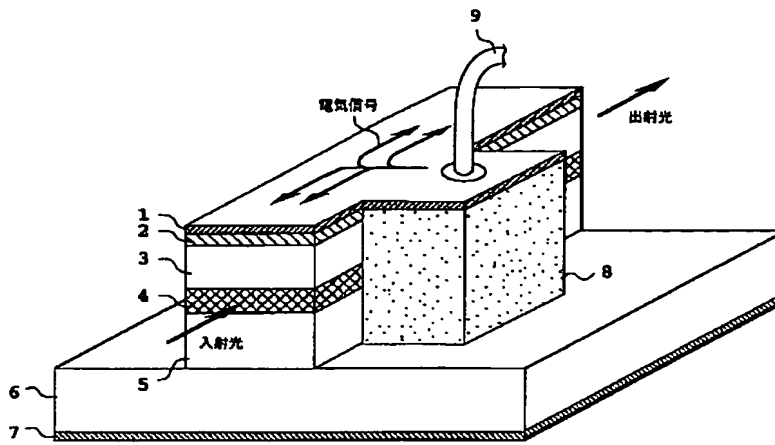
【図2】



【図5】



【図3】



【図4】

